土木建筑工程信息技术
Journal of Information Technology in Civil Engineering and Architecture



# 水电站大型沉砂池 BIM 技术应用

王　陆　刘增强　王小平

（黄河勘测规划设计有限公司，郑州　450003）

【摘　要】BIM 技术作为一项工程与信息技术相结合的产物，在促进工程全生命周期信息流动、提高工程建设质量、减少工程建设运营过程综合成本中，起到了至关重要的支撑作用。当前 BIM 技术主要应用于建筑工程中，对水利水电工程中的应用较少。未解决水利水电工程中的 BIM 应用问题，本项目在全球最大的沉砂池工程中采用设计－施工周期内 BIM 持续应用的方法，通过周密的 BIM 组织和一系列的 BIM 技术应用，完成了土建异形结构、地形地质 BIM 模型、钢筋 BIM 模型、BIM 数字档案的一系列应用，从而为本项目的顺利实施打下了基础。本文着重介绍整个项目在组织和应用环境搭建、BIM 应用及其效果，为以后的水电站 BIM 应用给出一个可行性方案。

【关键词】水电站 BIM 技术；BIM 组织；地质 BIM 应用；钢筋 BIM 应用；BIM 数字档案
【中图分类号】TU17　【文献标识码】A　【文章编号】1674－7461(2017)02－0078－06
【DOI】10.16670/j.cnki.cn11－5823/tu.2017.02.13



## 1　工程概况

### 1.1　项目简介

科卡科多－辛克雷水电站(简称 CCS 水电站)项目位于南美洲西北部厄瓜多尔共和国。该项目总投资 23 亿美元，由中国进出口银行提供 85% 的买方信贷，中国电建集团施工总承包。科卡科多－辛克雷水电站总装机容量 150 万 kW，是厄瓜多尔目前最大的水电站，年发电量 88 亿 kW·h，建成后将满足厄瓜多尔全国 37% 人口的电力需求，同时将厄瓜多尔全国发电量翻番。该项目是厄瓜多尔历史上外资投入金额最大、规模最大的水电站项目，电站建设将极大地满足本国电力需求，同时也是目前中国对外投资承建的最大水电站工程项目。

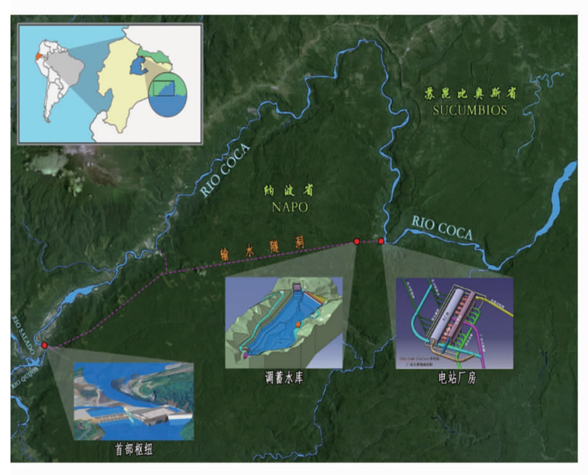
整个水电站由由首部枢纽、引水隧洞、调蓄水库及地下厂房四部分组成，如图 1(a)所示。其中地下厂房采用 8 台冲击式发电机组，设计水头 612m，是世界同类水头冲击式机组总装机最大的电站。作为本次 BIM 设计的典型代表，首部枢纽最重要的建筑物——沉砂池，采用了 Sedicon 专利冲沙系统，最大处理流量 222m$^3$/s，0.25mm 以上泥沙沉降率 100%。沉砂池总长度 153m，宽 119m，高 19m，整体为钢筋混凝土结构。整个首部枢纽含沉砂池模型如图 1(b)所示。

### 1.2　工程特点和难点

水电站一般均采用天然水源进行发电，很多情况下，泥沙含量较大，如携砂水流直接用来发电，一场大水下去，就会叶轮损毁，甚至冲毁厂房，整个工程毁于一旦。因此，有必要在电站引水口上游设置“过滤器”以满足电站正常运行，这个“过滤器”就是沉砂池。本工程沉砂池设施在科卡河(RIO COCA)上游，水流的日均泥沙含量 1.62kg/3，与我国长江的含沙量接近。而本工程的最大引水流量 222m$^3$/s 则与我国南水北调中线引水流量接近。且本工程位于河滩地，空间有限，两侧均为高山，如何保障在如此狭小的空间内布置同时满足泄洪、引水、排沙的枢纽，成为了一大难题。

为满足合同规定的沉沙要求，而又不能设置过长过大的沉沙结构，就必须通过一系列复杂的空间流线设计，将水流速度平顺的缓和下来，以保证沉

【作者简介】王　陆(1981－)，男，高级工程师，主要研究方向：BIM 技术标准、企业 BIM 应用构架、BIM 应用二次开发；
刘增强(1979－)，男，高级工程师，主要研究方向：BIM 技术实施、BIM 组织、BIM 钢筋应用；
王小平(1981－)，男，高级工程师，主要研究方向：BIM 数据分析、BIM 数字档案、BIM 异形结构建模。



(a) 水电站整体结构

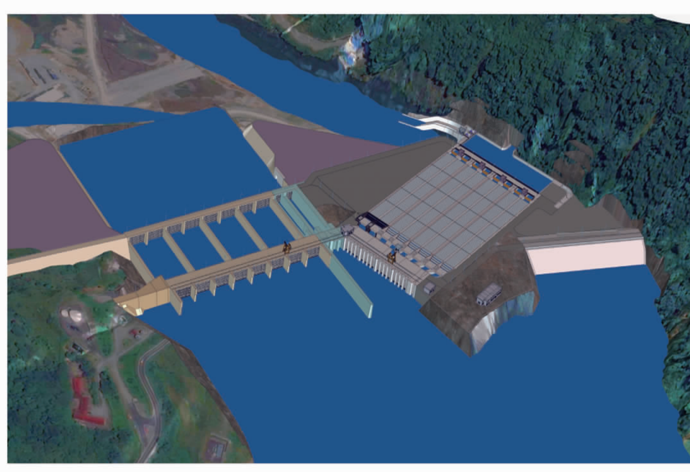

(b) 首部枢纽（包含沉砂池）

**图 1　项目整体介绍**



沙和引水的双重要求。在设计过程中，必须配合物理模型实验随时调整设计参数，因此，必须采用能够满足在一定的设计精度条件下，快速地进行复杂空间曲线设计和调整的 BIM 设计软件。

此外，本项目作为一个国际项目，厄瓜多尔国内工业基础及其薄弱，所有钢筋和钢结构材料必须外运，加之通关效率不高，物资采购必须保证准确性，才能确保不拖工程进度的后腿。与此同时，还要考虑到本项目的设计工期只有 66 个月，工期延误的成本高达 80 万美元/天，而业主采用了国际流行的设计审查制度，因此，还需要考虑如何提高设计审查一次通过率，以保证现场图纸供应不出现断档。

作为我国在海外最大的总承包水电站工程，同时也是中国在南美打开水电市场的试金石，打出中国建造的品牌成了 CCS 水电站的一项重任。提高设计施工质量，引入信息化手段，完善整个设计施工的各个环节，克服一切困难保证如期发电，必须要使用一些新的技术手段。

## 2　BIM 组织与应用环境

### 2.1　BIM 应用目标

使用 BIM 技术在本项目的应用主要在设计、施工两个阶段，具体目标如下：

1）提高设计效率，降低设计成果中的错误率；

2）提供可快速调整的设计模型，在概念设计阶段可快速进行方案比选；

3）对局部地质问题进行三维建模，以方便快速实现地基处理方案调整；

4）结合土建、动力、电气及金结专业进行管线综合、碰撞检测，以保证施工图质量；

5）通过 BIM 模型输出到不同计算软件进行多学科仿真分析；

6）通过轻量化展示模型，实现工艺仿真，满足现场设计交底和沟通要求。

### 2.2　实施方案

本项目在实施之前，通过本公司前期 BIM 项目的积累，首先确定了项目中的重点和难点，同时结合所使用的 BIM 软件，制定了 BIM 实施导则，同时针对设计中可能遇到的问题，申请了公司科研项目，以辅助进行构件库开发及设计辅助软件二次开发。在项目执行过程中，通过设计协同软件 Projectwise 实现了土建、动力、电气、金结等专业的协同交叉设计，由各专业负责本专业 BIM 模型的建模，由专门的 BIM 设计工程师负责专业接口及总装的模型检测。整个模型的后期成果，通过专门的展示工程师负责轻量化模型的抽取及工艺仿真模型的创建，并通过 Projectwise 和 VPN 实现设计现场与后方的沟通与资料共享。

### 2.3　团队组织

为减少 BIM 应用的内部障碍，本项目由我公司总工主管、工程院副院长主抓，数字工程中心主任负责，并抽调各专业精干力量负责本专业 BIM 应用的顺利实施。同时，为三十余位基层工程师提供培训及技术支持，保证 BIM 设计人员的储备，使得项

目能够顺利实施。

## 2.4 应用措施

在整个项目执行之初，凭借自2007年以来的BIM项目的经验，我公司制定了一系列的BIM标准、规范及应用指南，为保证执行力，还制定了相应的保障措施，并在三体系文件中增加了相应的过程控制程序，如图2所示。

为解决设计过程中的设计环境问题，在本工程开始初期，通过二次开发及数据库技术，完成了基于网络的综合设计平台。通过该平台，实现了设计资源的整合及工作环境的同步。还将水工构件库、设计流程、设计辅助工具和BIM标准等整合到本系统中，实现了统一设计入口，如图3所示。

为了解决异地设计协同问题，我们通过公司的Projectwise协同平台二次开发以及VPN技术，实现了设计环境推送、设计模型同步、设计信息共享以及网络访问安全。

## 2.5 软硬件环境等

本工程采用了以下设计软件：Dassault Systems CATIA、Dassault Systems CATIA Composer、Autodesk Revit、Autodesk Navisworks。

设计协同软件采用了Bentley Projectwise。

本工程计算分析软件采用了：Ansys、MIDAS/GTS、ITESCA Flac3D、Flowscience Flow-3D、Rockscience Phase2等。

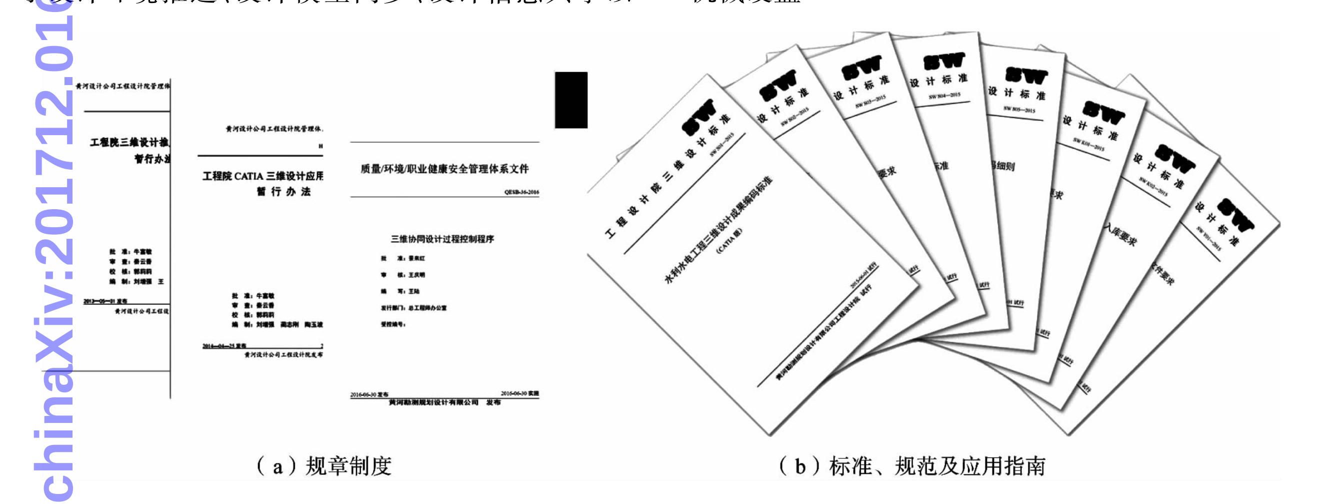
项目采用的设备为图形工作站，主要硬件配置为：

CPU：Inter i7 2600

内存：2×8G 1866 MHz DDR3 RDIMM

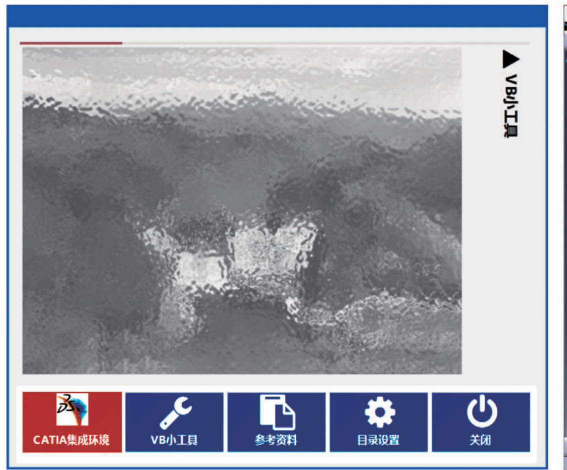
显卡：Nvidia Quadro K620

硬盘：256G 2.5寸SSD硬盘+1T 3.5寸SATA机械硬盘



（a）规章制度　（b）标准、规范及应用指南

图2　规章制度与标准



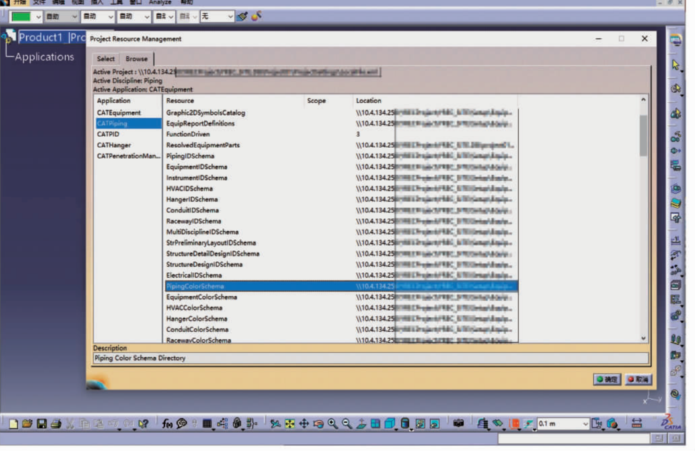



图3　综合设计平台

## 3 BIM 应用

### 3.1 BIM 建模

项目 BIM 模型采用基于文件结构树的中心文件以及分专业的子数据集的方式，所有的模型在 CATIA 中进行碰撞检测，牵涉到 Revit 的少数建筑模型，则将 CATIA 模型和 Revit 模型导入 Navisworks 实现跨平台的碰撞检测。

项目出图采用自主开发的工程制图辅助软件实现在 CATIA 中的图纸标准化生产，并利用专业的三维配筋软件实现钢筋图的二维输出及三维模型输出。

所有的工艺模型在 CATIA 中完成工艺构造的分割和运动副的创建，在 CATIA Composer 中完成工艺模拟动画的创建。

所有的土建模型精度不低于 LOD200，所有动力、电气、金属结构模型精度不低于 LOD300。

### 3.2 BIM 应用情况

(1)高精度参数化模型创建及三维校审

在沉砂池设计过程中主要遇到三个难题，一个是配合物理模型实验的模型快速调整，一个是如何实现加工级模型的创建，一个是如何实现三维地质模型快速调整及群桩快速设计。在这三个问题上，我们主要利用的是 CATIA 的知识工程和专业金属结构模块来实现了以上问题的解决。对于第一个问题，我们利用了 CATIA 的法则曲线功能，轻松实现了空间复杂曲线结构的参数化。对于水工金属结构来说，由于所有尺寸均由物理模型实验确定，因此均为非标构件，通过 CATIA 的 Stucture Design 模型，实现了闸门、整流栅、启闭机等设备和结构的加工级模型，并直接发给制造厂家用于加工制造。

由于沉砂池一半坐落在超深河床冲积层上，另一半坐落在硬岩上，在整个沉砂池设计过程中，最重要的一点就是地基处理问题。为解决这个问题，我们通过二次开发，将地质信息批量导入 CATIA 中，然后利用 CATIA 优异的曲面建模特性，实现了三维地质模型的快速建模。在此基础上，利用 CATIA 的知识工程阵列，实现了近三百根高度跟随地质模型变化的桩基的半自动设计，极大提高了设计效率。沉砂池经历了今年 4 月中旬的 7.8 级大地震后，没有任何裂缝出现，说明软基处理相当成功。

(2)水工专业构件库的创建

在应用 CATIA 进行 BIM 设计过程中，一个普遍被诟病的问题就是缺乏 BIM 构件库。利用 CATIA 的零件库功能、模板功能、零件族功能，构建了适合水工结构的企业级参数化 BIM 构件库(图 4 所示)，并在本项目的设计过程中大量使用。

(3)三维配筋及出图

在施工图设计中，工作量最大、最容易出错、占出图时间最长的是钢筋图。本工程单体结构配筋中更是有近千种曲线钢筋和空间弯折筋，为此，项目特引进三维配筋软件，整个沉砂池的配筋全部采用了三维配筋技术。此举极大提高了设计和校审效率，将出图时间压缩到了原先的三分之一。与此同时，配筋结果还可输出多种成果，极大提高了设计审查一次通过率。

(4)基于 BIM 模型的计算模型输出

在本次的结构设计过程中，工程师们根据设计

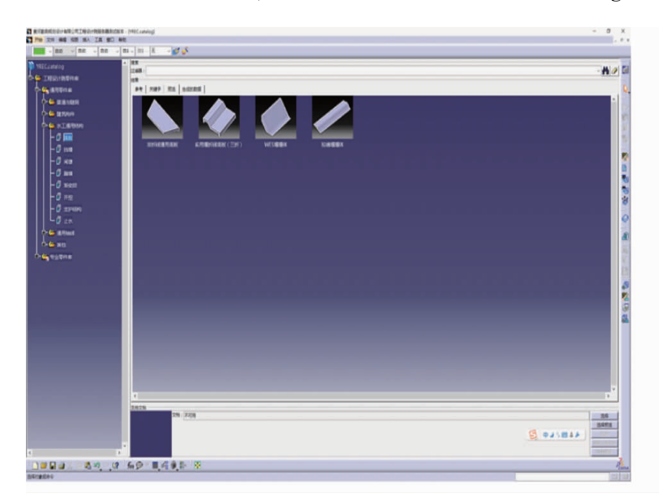


图 4 水工结构构件库

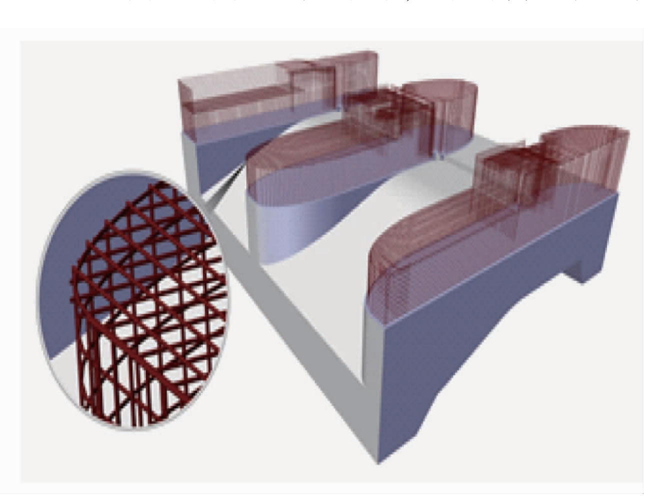


图 5 三维配筋

需要，采用了多种软件，分别进行多学科计算分析。在以前，不同的软件需要分别建模，而在采用 BIM 设计后，仅需要对 BIM 模型进行适当调整，就可供分析软件使用，保证计算分析条件的近似性。项目还通过仅数页的 Sedicon 专利说明书，完整实现了该专利的三维模型，以帮助和指导物理模型试验的实现，取得了良好的效果。

(5)数字化档案管理

现场设计代表(以下简称现场设代)管理方面，为解决现场资料的数字化管理，以及后期数字化资产移交的要求，利用 Navisworks 以及数据库开发，实现了基于 Navisworks 的施工图、报告、设计变更、BIM 模型以及现场影音资料的管理和移交。

## 4 应用效果

通过以上 BIM 技术的实施，提高了设计过程决策速度，设计效率提高 15%，质量一次合格率提高 40%。相较于传统方法，设计交底时间减少 30 天，现场沟通时间减少 80 天，让审批一次通过率依据提高到接近 100%。

## 5 总结

### 5.1 创新点

在本项目中，主要实现了以下几个方面的创新：

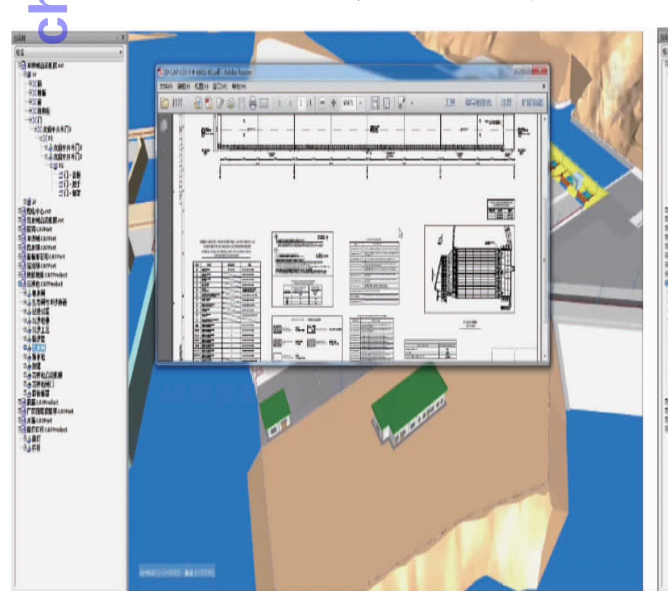
(1)基于 Navisworks 二次开发和数据库技术实现了现场设代资料管理系统，形成了可交付的数字化设计施工档案。通过构建独立的施工图纸数据库、设计变更数据库、施工影音资料库，并通过数据库接口，在 Navisworks 中集成 BIM 信息的 BIM 模型上挂接各类数据库，实现了统一可交付的设计施工数字化档案，并可交付给业主以备后期查验。具体参见图 6。

(2)基于设计流程的自动化 BIM 模型创建工具。首部枢纽拥有取水闸、泄洪闸、出口控制闸等诸多种水闸，为提高水闸的快速设计能力，在前期积累的大量模板和构件的基础上，结合设计规范，通过二次开发，研发出可进行快速 BIM 设计的水闸设计软件，只需要输入边界条件点几下鼠标，BIM 模型就自动生成。该软件已经申请并获得了计算机软件著作权。

(3)基于轻量化模型的施工工艺展示。通过 CATIA Composer 软件，我们实现了利用轻量化模型创建工艺展示视频和图片。而且这些工艺动画还可以在模型变更后，通过 CATIA Composer 与 CATIA 的良好接口，通过更新的方式进行模型的自动更新，同时更新整个工艺展示视频文件，实现了这类视频的快速修改、快速生成，为前方工程师与当地人的沟通创建了良好的基础，有效减少设计交底和现场沟通时间，开创了新的设计服务模式。

### 5.2 经验教训

在整个项目执行过程中，受限于经验和对于国际项目的不熟悉，还是有一些经验教训值得后来者认真思考。



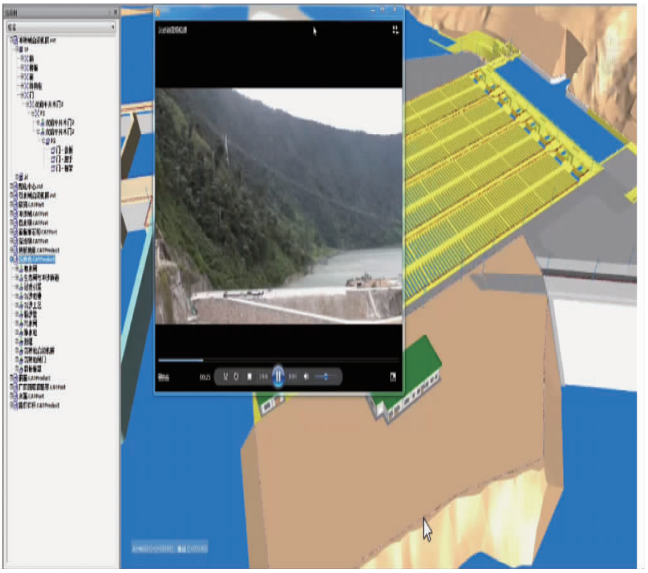


图 6 基于 Navisworks 和数据库的数字化档案

(1)设计成果校审问题

在项目前期,我们按照合同仅提交了工程二维图纸,在设计审查过程中,经常发现审批超期现象,通过与墨西哥咨询公司的工作会议得知,他们在拿到我们的图纸后需要重新进行 BIM 模型的创建来验证是否存在设计问题,而我们手头本身是有 BIM 模型的,他们的工作本身就是一种重复,而且翻模很容易出现错误,从而造成反复验证。在后期,我们采用了工程图纸和 BIM 模型的双交付,极大的提高了设计审查效率,而且一次审查通过率从原先的 5% 提高到了接近 100% 。如果前期沟通好,会减少很多无谓工作,这是一个经验教训。

(2)长周期设计造成的 BIM 准则执行问题

本项目设计施工周期较长,从 2009 年签订设计分包合同到现在,整个项目还在进行收尾工作,过长的设计周期,造成了在后期 BIM 执行过程较前期有较大偏差,因此在以后的设计过程中,需要考虑水利水电工程较长的设计周期对 BIM 设计的影响,在前期的 BIM 设计准则制定过程中有一定的技术前瞻性,避免边执行、边修改的问题。

(3)设计在施工阶段的服务模式问题

在执行整个 BIM 技术应用过程中,我们发现设计施工在 BIM 执行过程中,很难分清界限,如果仅从设计的角度,很多工艺模拟视频我们是不必给总承包企业出的,但为了满足现场沟通和设计交底的需求,项目完成了很多这类工作。从项目执行 BIM 的角度来说,IPD 模式和 EPC 模式的区别还是很大的,因此有必要就水利水电工程如何实现 IPD 模式,从而实现真正的全生命周期的 BIM 设计进行详细的制度探讨。

## 参考文献

[1] 何关培. BIM 总论[M]. 北京:中国建筑工业出版社, 2011.

[2] National Institute of Building Sciences. National BIMStandard-United States Version 3[S].

[3] BuildingSMART alliance of National Institute of Building Sciences, BIM Project Execution Planning Guild, Version 1.0[S].



# Application of BIM in Large Scale of Sedimentation Basin with in Hydropower Station

Wang Lu, Liu Zengqiang, Wang Xiaoping

(*Yellow River Engineering Consulting Co., Ltd., ZhengZhou* 450003, *China*)

**Abstract**: As a product of the combination of engineering and information technology, BIM played a crucial supporting role while promoting the life-cycle information flow of engineering, improving the quality of project construction and management, reducing overall cost of construction and operation process, etc. The current BIM technology is mainly applied building projects, and the application in water conservancy and hydropower projects is less. We use BIM technology in the design of the largest sedimentation basin of the world in CCS project. Thought the careful BIM organization and a series of BIM technology applications, such as special-shaped structure BIM design, BIM application of terrain and geology, BIM application of reinforced bar, BIM-based digital archives, etc. , we completed the design and management works in the design and construction stage. This paper focuses on the construction and application of the whole project in the organization and application environment, BIM application and its effect, and presents a feasibility plan for the future application of BIM in hydropower station.

**Key Words**: Application of BIM in Hydropower Project; BIM Organization; Application of BIM in Geology; Application of BIM in Rebar Design; BIM-based Digital Archives